

Based on Matter-element Analysis to Evaluate the Water Environment Quality of a River

LU Yixin¹, XU Wenlai², SU Hao³

¹Electromechanical Engineering Department, Chengdu Electromechanical College, Chengdu, China

²School of Environmental Science & Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, China;

³School of Economics and Management, Southwest Jiaotong University, Chengdu, China

Email: xwl1983@qq.com

Abstract: A new model of water environment quality evaluation has been derived from Matter-element analysis theory. Water-quality standards, evaluation indicators and their characteristic values are considered as matter-element, we established the water-quality evaluation matter-element model through normalizing the evaluation level and measured data. We selected the data of BOD₅, COD_{Cr}, NH₃-N, petroleum, fecal coliform bacteria of a river in the Agriculture Ecological Park of Guangan, Sichuan and closed I to V water standard range corresponding to classical field matter-element structure matrix, eventually obtained the degree of association is $\max[K_j(P)] = K_2 = 0.14$ and the river water quality are II. The result proved the new model is suitable to evaluate water environment quality and it can be applied in practice.

Keywords: matter-element analysis method; model; water environment quality

基于物元分析法的广安农业生态园某河流 水环境质量评价

陆一新¹, 许文来², 苏昊³

¹成都电子机械高等专科学校机电工程系, 成都, 中国, 610031

²西南交通大学环境科学与工程学院, 成都, 中国, 610031

³西南交通大学经济管理学院, 成都, 中国, 610031

Email: xwl1983@qq

摘要:由物元分析理论导出了水环境质量评价的新模型,将水质标准、评价指标及其特征值作为物元,通过对评价级别和实测数据归一化后,得到模型的经典域、节域、权系数及关联度,建立了水质评价的物元模型,并以四川广安农业生态园某河流水环境质量为例,选取具有代表性的BOD₅(五日生物耗氧量)、COD_{Cr}(化学耗氧量)、NH₃-N(氨氮)、石油类、粪大肠菌群五项指标为待评物元,取I至V类水质标准对应的取值范围构造经典域物元矩阵,按照污染贡献率法确定各特征(评价因子)的权重,应用建立的水质评价物元模型计算出关联度 $\max[K_j(P)] = K_2 = 0.14$,得出该河流水环境质量属于II级。实例研究表明,运用物元模型评价水环境质量,评价结果符合客观实际,具有较好的实用性。

关键词:物元可拓集; 模型; 水环境质量

1 引言

水环境质量评价是环境质量评价的一个重要方面,是多层次多维度的综合评价。目前国内学者常用的水环境质量评价方法很多,如综合指数评价法、层次分析法、模糊综合评价法等^[1]。综合指数评价法将分散的信息通过模型集成,再进行综合值的分级,来评价水环境质量的综合水平,但缺陷是会遗漏指标

间的一些分异信息;模糊综合评价方法应用隶属函数刻画了评价对象的分级界线的模糊性,比较客观地反映了实际情况,但该方法强调极值作用,信息损失多,并且和层次分析法一样,对权重值的确立不够科学。另外水质评价时,由于各项水质指标的评判结果往往是不相容的,直接利用水质质量评价标准,难以作出确切的评价。20世纪80年代我国数学家蔡文提出物

元分析理论，从最初的物元分析到现在的可拓学，已形成了其理论体系^[2,3]。物元分析法以物元模型和可拓集合、关联函数理论为基础，解决不相容问题，是一种多元数据量化评价方法^[4]。利用物元分析方法，可以建立事物某特征多指标性能参数的评定模型，定量表示评定结果及较完整地反映事物的综合水平，结果更加客观和科学。本文以此为切入点，以四川广安农业生态园某河水环境质量为例，运用物元可拓集分析理论对河水环境质量进行了评价，为水环境评价提供了新方法。

1. 物元可拓集的评价模型

物元可拓集包括物元理论和可拓集合论。物元理论研究事物的可变性，研究事件变化的条件、途径和规律，探索使事物转化的方法。可拓集合论则是物元分析的数学工具。可拓集用关联度来刻画，关联度将模糊集的[0, 1]闭区间取值，拓展到 $[-\infty, +\infty]$ 整个实数轴，描述量值的可拓集的关联度即能代数式表达，使研究的问题量化成为可能。

1.1 确定待评物元

以有序三元组“ $R = (P, C, X)$ ”作为描述事物的基本单元，称为物元。其中，P 表示事物，C 表示 P 的特征，X 表示 P 关于 C 所取的量值。

若事物 P 由 n 个特征 C_1, C_2, \dots, C_n 及相应的量值 x_1, x_2, \dots, x_n 来描述，则称为 n 维物元，并表示为：

$$R = \begin{bmatrix} P, & C_1, & x_1 \\ & C_2, & x_2 \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & x_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

对待评单元，将实测得到的数据用物元表示，称为待评物元。

1.2 确定等级的物元集

1.2.1 确定经典域

$$R_j = (N_j, C_i, x_{ji}) = \begin{bmatrix} N_j, & C_1, & x_{j1} \\ & C_2, & x_{j2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & x_{jn} \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} N_j, & C_1, & (a_{j1}, b_{j1}) \\ & C_2, & (a_{j2}, b_{j2}) \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & (a_{jn}, b_{jn}) \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中， N_j 为所划分的第 j 个等级； C_i 表示等级 N_j 的特征； x_{ji} 为 N_j 关于 C_i 所规定的量值范围，即各等级关于对应的特征所取的数值范围。

1.2.2 确定节域

$$R_p = (P_0, C_i, x_{pi}) = \begin{bmatrix} P_0, & C_1, & x_{p1} \\ & C_2, & x_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & x_{pn} \end{bmatrix} \\ = \begin{bmatrix} P_0, & C_1, & (a_{p1}, b_{p1}) \\ & C_2, & (a_{p2}, b_{p2}) \\ & \vdots & \vdots \\ & C_n & (a_{pn}, b_{pn}) \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中， P_0 表示等级的全体； x_{pi} 为 P_0 关于 C_i 所取的量值范围。

1.3 确定待评物元关于各等级的关联度

根据可拓集合论和具体条件建立关联函数：

$$K_j(x_i) = \begin{cases} \frac{-\rho(x_i, x_{ji})}{|x_{ji}|} & x_i \in x_{ji} \\ \frac{\rho(x_i, x_{pi})}{\rho(x_i, x_{pi}) - \rho(x_i, x_{ji})} & x_i \notin x_{ji} \end{cases} \quad (4)$$

其中

$$\rho(x_i, x_{ji}) = |x_i - 0.5(a_{ji} + b_{ji})| - 0.5(b_{ji} - a_{ji}) \quad (5)$$

$$\rho(x_i, x_{pi}) = |x_i - 0.5(a_{pi} + b_{pi})| - 0.5(b_{pi} - a_{pi}) \quad (6)$$

$$|x_{ji}| = |a_{ji} - b_{ji}| \quad (7)$$

对于每个特征 C_i ， ω_i 为权值，令

$$K_j(P) = \sum_{i=1}^n \varpi_i \bullet K_j(x_i) \quad (8)$$

称 $K_j(P)$ 为待评单元 P 关于 j 质量等级的关联度。

1.4 物元分析结论

若 $K_a = \max_{(j)} [K_j(P)] (j = 1, 2, \dots, m)$, 则

$R \in R_a$, 即待评单元 P 属于 a 等级。

2.应用实例

四川广安农业生态园位于广安市境内, 现选取该农业生态园某河流河段 12 月水环境质量为研究对象, 运用物元可拓集分析理论对该河段水环境质量进行了评价。

2.1 确定待评物元

在《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中所给出的地表水环境质量指标众多, 考虑到计算量、数据获取等因素, 此处选取具有代表性的 BOD_5 、 COD_{cr} 、 NH_3-N 、石油类、粪大肠菌群五项指标, 其监测值及各级标准如表 1。

待评对象的物元为:

$$R = \begin{bmatrix} BOD_5 & 1.79 \\ COD_{cr} & 12.5 \\ NM_3 - N & 0.23 \\ 石油类 & 0.022 \\ 粪大肠菌群 & 3855 \end{bmatrix}$$

Table 1. Surface water environmental quality standard limits for the basic project criteria

表 1. 水环境质量监测值及标准值/ (mg/m³)

监测指标	评价标准						监测值
	I	II	III	IV	V	平均	
BOD_5	3	3	4	6	10	5.2	1.79
COD_{cr}	15	15	20	30	40	24	12.5
NH_3-N	0.15	0.5	1.0	1.5	2.0	1.03	0.23
石油类	0.05	0.05	0.05	0.5	1.0	0.33	0.022
粪大肠菌群 (个 / L)	200	2000	10000	20000	40000	14440	3855

Table 2. Average water quality monitoring

表 2. 水环境物元分析评价

级别	关联系数					关联度
	$K_j(x_1)$	$K_j(x_2)$	$K_j(x_3)$	$K_j(x_4)$	$K_j(x_5)$	
	0.189	0.293	0.186	0.02	0.171	
I	0.145	0.154	-0.38	0.23	-0.488	-0.056
II	0.145	0.157	0.49	0.23	-0.380	0.14
III	-0.157	-0.15	-0.35	0.23	0.234	-0.11
IV	-0.355	-0.345	-0.54	-0.087	-0.606	-0.52
V	-0.577	-0.563	-0.78	-0.979	-0.878	-0.53

2.2 确定经典域

取 I 至 V 类水质标准对应的取值范围构造经典域物元矩阵如下:

$$R(1) = \begin{bmatrix} BOD_5 & (0,3) \\ COD_{cr} & (0,15) \\ NM_3 - N & (0,0.15) \\ 石油类 & (0,0.05) \\ 粪大肠菌群 & (0,200) \end{bmatrix}$$

$$R(2) = \begin{bmatrix} BOD_5 & (0,3) \\ COD_{cr} & (0,15) \\ NM_3 - N & (0.15,0.5) \\ 石油类 & (0,0.05) \\ 粪大肠菌群 & (200,2000) \end{bmatrix}$$

$$R(3) = \begin{bmatrix} BOD_5 & (3,4) \\ COD_{cr} & (15,20) \\ NM_3 - N & (0.5,1.0) \\ 石油类 & (0,0.05) \\ 粪大肠菌群 & (2000,10000) \end{bmatrix}$$

$$R(4) = \begin{bmatrix} BOD_5 & (4,6) \\ COD_{cr} & (20,30) \\ NM_3 - N & (1.0,1.5) \\ 石油类 & (0.05,0.5) \\ 粪大肠菌群 & (10000,20000) \end{bmatrix}$$

$$R(5) = \begin{bmatrix} BOD_5 & (6,10) \\ COD_{cr} & (30,40) \\ NM_3 - N & (1.5,2.0) \\ 石油类 & (0.5,1.0) \\ 粪大肠菌群 & (20000,40000) \end{bmatrix}$$

2.3 确定节域

一般地，节域的下限为 0，上限为规定最高标准。所以

$$R_p = \begin{bmatrix} \text{质量等级} & BOD_5 & (0,10) \\ & COD_{cr} & (0,40) \\ & NM_3 - N & (0,2.0) \\ & 石油类 & (0,1.0) \\ & 粪大肠菌群 & (0,40000) \end{bmatrix}$$

2.4 确定各特征的权重

按照污染贡献率法，确定各特征（评价因子）的权重为：

$$W = (0.189, 0.293, 0.186, 0.02, 0.171)$$

2.5 计算关联系数 $K_j(x_i)$ 及关联度 $K_j(P)$

以第 I 级计算为例，其关联函数为：

$$K_1(x_i) = \begin{cases} \frac{-\rho(x_i, x_{1i})}{|x_{1i}|} & x_i \in x_{1i} \\ \frac{\rho(x_i, x_{1i})}{\rho(x_i, x_{pi}) - \rho(x_i, x_{1i})} & x_i \notin x_{1i} \end{cases} \quad (9)$$

将 $x_1=1.79, x_2=12.5, x_3=0.23, x_4=0.022, x_5=3855$ 代入以上各式得：

$$K_1(x_1) = 0.155, K_1(x_2) = 0.122, K_1(x_3) = -0.333,$$

$$K_1(x_4) = 0.24, K_1(x_5) = -0.455$$

同理计算出第 II、III、IV、V 级的关联系数，将所有的系数列入表 2 中，并按照式 9 计算出关联度 $K_j(P)$ ，将结果一并列入表 2 中。见表 2。

2.6 水质综合评价

若 $K_{j0} = \max[K_j(P)]$ ， $j \in (I, II, III, IV, V)$ ，则水环境质量 P 的综合评价结果为 j_0 类。如果对于任何水质类别 j，均存在 $K_j(P) \leq 0$ 表示待评水环境质量已经不属于所划分的各类别之中，说明该水质已经严重污染，超过 V 类水质标准。

从表 2 可知，关联度 $\max[K_j(P)] = K_2 = 0.14$ ，所以该段水环境质量属于 II 级。和实际情况对比，该评价结果是符合实际，评价结果是可信的。

3 结论

根据事物特征的量值来判别事物属于某集合的程度与可拓集合的思想是一致的，因此，用物元可拓集来评价水环境质量是合理的和可行的。

本文由物元分析理论导出了水环境质量评价的新模型，将水质标准、评价指标及其特征值作为物元，通过对评价级别和实测数据归一化后，得到模型的经典域、节域、权系数及关联度，建立了水质评价的物元模型。物元的关联函数概念把逻辑值从(0, 1)扩展到(-∞, +∞)，由于通过引入负数的概念建立关联度，因此可以无丢失地综合各种因素的全部信息，保证了信息的完整性，因此能更加客观地反映真实情况。这种方法克服了主观因素的影响，具有灵活、简便的特

点, 易于计算机编程。关联函数计算简单, 可以取负值, 能够全面分析评价对象属于某集合的程度, 使评价结果更为精细, 更符合客观实际。

该方法简便、实用、科学合理。结果也表明了本模型是切实可行, 结果清晰, 判断准确。用物元分析进行水环境质量评价, 其评价结果分辨率高, 关联度的引入真实地反映了水环境质量的客观情况, 用综合关联度判别级别, 不仅能反映其真实性, 而且也能反映其相对性, 这是其他方法所不能比拟的。本方法不

但拓宽了物元分析的应用范围, 而且为环境评价提供新的思路。

References (参考文献)

- [1] Cai Wen, Method of matter elements analysis[J], *BUSEFAL*, 1984, 20, P 51-56.
- [2] Liu Zhemin, Heavy metals pollution in vegetable fields and its prevention[J], *Journal of Arid Land Resources & Environment*, 2005, 19(2), P 101-104.
- [3] Xu Xueqiang, Zhang Junjun, Comprehensive Evaluation of Guangzhou Urban Sustainable Development[J], *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56 (1), P 54-63.
- [4] Huber. P. J., Projection pursuit (with discussion) [J], *Ann Statist*, 1985, 13(2), P 435-475.